

14998.230

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants : Kazuhiko Aikawa et al  
Serial No. : To Be Assigned  
Filed : Herewith  
For : OPTICAL FIBER AND OPTICAL TRANSMISSION  
SYSTEM  
Art Unit : N/A  
Examiner : N/A

-----  
August 9, 2000

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT

Sir:

Transmitted herewith is a certified copy of the  
following patent application, the foreign priority of which  
has been claimed under 35 USC 119:

Japanese Patent Appl No 11-228904, Filed 8/12/99

Japanese Patent Appl No 2000-012259, Filed 1/20/00

It is submitted that this certified copy satisfies  
all of the requirements of 35 USC 119, and the right of

1c896 U.S. PRO  
09/635109  
08/09/00

#2  
10/22/00  
M. R. R. R.

foreign priority should therefore be accorded to the present application.

Respectfully submitted,

CHADBOURNE & PARKE LLP

By: *Francis Montgomery*  
Francis Montgomery  
Reg. No. 41,202

30 Rockefeller Plaza  
New York, NY 10112  
(212) 408-1075

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231

on August 9, 2000  
CHADBOURNE & PARKE

By: *Francis Montgomery*  
Francis Montgomery

OSP-9131/32

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

US  
JCS96 U.S. PTD  
09/635109  
08/60/00

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年 8月12日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第228904号

出 願 人

Applicant (s):

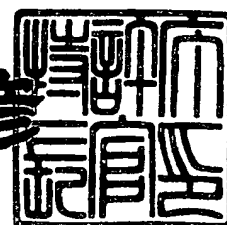
株式会社フジクラ

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2000年 3月24日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

近 藤 隆 彦



【書類名】 特許願

【整理番号】 990164

【提出日】 平成11年 8月12日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/00

【発明の名称】 光ファイバおよび光伝送システム

【請求項の数】 7

【発明者】

    【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

    【氏名】 愛川 和彦

【発明者】

    【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

    【氏名】 鈴木 孝至

【発明者】

    【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

    【氏名】 和田 朗

【発明者】

    【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

    【氏名】 山内 良三

【特許出願人】

    【識別番号】 000005186

    【氏名又は名称】 株式会社フジクラ

【代理人】

    【識別番号】 100064908

    【弁理士】

【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】 100108578

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 詔男

【選任した代理人】

【識別番号】 100089037

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 隆

【選任した代理人】

【識別番号】 100101465

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 正和

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704943

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバおよび光伝送システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 中心コア部と、その外周上に設けられた該中心コア部よりも低屈折率の中間部と、該中間部の周囲に設けられた該中間部よりも高屈折率で、前記中心コア部よりも低屈折率のクラッドとを有する屈折率分布形状を備え、

1. 53 ~ 1. 61  $\mu\text{m}$  から選択される使用波長帯において、有効コア断面積が 140  $\mu\text{m}^2$  以上であり、かつ前記使用波長帯において、実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有することを特徴とする光ファイバ。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光ファイバにおいて、曲げ損失が 20 dB / m 以下であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 に記載の光ファイバにおいて、中心コア部の半径を  $r_1$ 、中間部の半径を  $r_2$  としたとき、 $3.0 \leq r_2 / r_1 \leq 5.0$  であり、

クラッドの屈折率を基準としたときの中心コア部と中間部の比屈折率差をそれぞれ  $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$  としたとき、 $\Delta_1$  が 0.26 % 以下、 $\Delta_2$  が -0.05 ~ -0.15 % であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 4】 請求項 1 または 2 に記載の光ファイバにおいて、中間部とクラッドとの間に、該中間部と該クラッドよりも高屈折率で、かつ中心コア部よりも低屈折率のリングコア部が設けられていることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の光ファイバにおいて、中心コア部の半径を  $r_1$ 、中間部の半径を  $r_2$ 、リングコア部の半径を  $r_3$  としたとき、 $3.0 \leq r_2 / r_1 \leq 4.0$ 、かつ  $4.0 \leq r_3 / r_1 \leq 5.0$  であり、

クラッドの屈折率を基準としたときの中心コア部と中間部とリングコア部の比屈折率差をそれぞれ  $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ 、 $\Delta_3$  としたとき、 $\Delta_1$  が 0.35 % 以下、 $\Delta_2$  が 0 ~ -0.2 %、 $\Delta_3$  が +0.05 ~ +0.2 % であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 6】 請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の光ファイバの光信号の出射側に、この光ファイバの波長分散値と分散スロープのどちらか一方、あるい

は両方を補償する分散補償光ファイバを配置したことを特徴とする光ファイバ伝送システム。

【請求項 7】 請求項 6 に記載の光伝送システムにおいて、光ファイバと、分散補償光ファイバとを合成したときの平均波長分散値が  $-6 \sim +6 \text{ ps/nm/km}$  であることを特徴とする光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光ファイバおよびこれを用いた光伝送システムに関し、特に比較的容易な構造で、 $1.53 \sim 1.61 \mu\text{m}$  から選択される使用波長帯における有効コア断面積を拡大し、非線形効果の抑制を可能とした光ファイバとこれを用いた光伝送システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

エルビウム添加光ファイバ増幅器が実用化されたことによって、波長  $1.53 \sim 1.61 \mu\text{m}$  においては、超長距離無再生中継などのシステムが既に商用化されている。また、通信容量の増大に伴い、波長多重伝送の開発が急速に進められ、既にいくつかの伝送路では商用化されている。今後は波長多重数の増加が急速に進むと考えられる。

【0003】

波長多重伝送においては、1 本の光ファイバに波長の異なるいくつかの光信号を伝送させるため、光ファイバを伝搬する光パワーが急激に増加する。そのため、非線形効果を抑制して伝送特性の劣化を防ぐ技術が必須である。

非線形効果の大きさは、 $n_2/A_{\text{eff}}$  で表される。ここで  $n_2$  は、光ファイバの非線形屈折率、 $A_{\text{eff}}$  は光ファイバの有効コア断面積であって、非線形効果を抑制するためには、 $n_2$  を小さくするか  $A_{\text{eff}}$  を大きくする必要がある。

$n_2$  は材料に固有の値であるため、石英系の光ファイバにおいては大きく低減することが困難である。そのため、 $A_{\text{eff}}$  を拡大する必要性があり、種々の複雑な屈折率分布形状を有するものが開発されているが、いずれも高コストである。

【0 0 0 4】

一方、従来の通信システムには 1. 3  $\mu$  m 用シングルモード光ファイバが多用されている。

しかしながら、1. 3  $\mu$  m 用シングルモード光ファイバは、使用波長帯を 1. 5 3 ~ 1. 6 1  $\mu$  m に設定すると曲げ損失が大きくなり、敷設時などに生じるわずかな曲がりなどによっても伝送損失が劣化するという問題があった。

そこで、1. 3  $\mu$  m 用シングルモード光ファイバを改良して曲げ損失を低減したカットオフシフト光ファイバ (C S F) が提案されている。

しかしながら、カットオフシフト光ファイバは非線形効果の低減を目的としていないため、その A e f f は非線形効果を抑制できるほど大きいものではない。

【0 0 0 5】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は前記事情に鑑みてなされたもので、1. 5 3 ~ 1. 6 1  $\mu$  m から選択される使用波長帯において、A e f f の拡大を図ることができる光ファイバを提供することを課題とする。

さらには、比較的簡単な屈折率分布形状を有し、低コストで製造可能な光ファイバを提供することを課題とする。

【0 0 0 6】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するために、本発明の第 1 の発明の光ファイバは、中心コア部と、その外周上に設けられた該中心コア部よりも低屈折率の中間部と、該中間部の周囲に設けられた該中間部よりも高屈折率で、前記中心コア部よりも低屈折率のクラッドとを有する屈折率分布形状を備え、1. 5 3 ~ 1. 6 1  $\mu$  m から選択される使用波長帯において、有効コア断面積が 1 4 0  $\mu$  m<sup>2</sup> 以上であり、かつ前記使用波長帯において、実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有することを特徴とする。

第 2 の発明は、第 1 の発明の光ファイバにおいて、曲げ損失が 2 0 d B / m 以下であることを特徴とする。

第 3 の発明は、第 1 または第 2 の発明の光ファイバにおいて、中心コア部の半



径を  $r_1$ 、中間部の半径を  $r_2$  としたとき、 $3.0 \leq r_2 / r_1 \leq 5.0$  であり、クラッドの屈折率を基準としたときの中心コア部と中間部の比屈折率差をそれぞれ  $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$  としたとき、 $\Delta_1$  が  $0.26\%$  以下、 $\Delta_2$  が  $-0.05 \sim -0.15\%$  であることを特徴とする光ファイバである。

第4の発明は、第1または2の発明の光ファイバにおいて、中間部とクラッドとの間に、該中間部と該クラッドよりも高屈折率で、かつ中心コア部よりも低屈折率のリングコア部が設けられていることを特徴とする光ファイバである。

第5の発明は、第4の発明の光ファイバにおいて、中心コア部の半径を  $r_1$ 、中間部の半径を  $r_2$ 、リングコア部の半径を  $r_3$  としたとき、 $3.0 \leq r_2 / r_1 \leq 4.0$ 、かつ  $4.0 \leq r_3 / r_1 \leq 5.0$  であり、クラッドの屈折率を基準としたときの中心コア部と中間部とリングコア部の比屈折率差をそれぞれ  $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ 、 $\Delta_3$  としたとき、 $\Delta_1$  が  $0.35\%$  以下、 $\Delta_2$  が  $0 \sim -0.2\%$ 、 $\Delta_3$  が  $+0.05 \sim +0.2\%$  であることを特徴とする光ファイバである。

第6の発明は、第1～5の発明のいずれかひとつの光ファイバの光信号の出射側に、この光ファイバの波長分散値と分散スロープのどちらか一方、あるいは両方を補償する分散補償光ファイバを配置したことを特徴とする光ファイバ伝送システムである。

第7の発明は、第6の発明の光伝送システムにおいて、光ファイバと、分散補償光ファイバとを合成したときの平均波長分散値が  $-6 \sim +6 \text{ ps/nm/km}$  であることを特徴とする光伝送システムである。

【0007】

【発明の実施の形態】

本発明の光ファイバの使用波長帯は  $1.53 \sim 1.61 \mu\text{m}$  の範囲から選択される。例えば、通信システムを構築するエルビウム添加光ファイバ増幅器の増幅波長帯によって、 $1.53 \sim 1.57 \mu\text{m}$ 、あるいは  $1.57 \sim 1.61 \mu\text{m}$  などが適宜選択される。

【0008】

$A_{eff}$  は以下の式から求められるものである。

【0009】

【数 1】

$$A_{eff} = \frac{2\pi \left\{ \int_0^\infty a |E(a)|^2 da \right\}^2}{\int_0^\infty a |E(a)|^4 da}$$

a: コアの半径

E(a): 半径 a での電界強度

【0 0 1 0】

本発明においては、 $A_{eff}$  が  $140 \mu m^2$  未満であると、非線形効果の抑制が不十分である。 $A_{eff}$  の上限値は特に限定しないが、実質的に製造可能な範囲としては  $250 \mu m^2$  以下とされる。

【0 0 1 1】

曲げ損失は、使用波長帯において曲げ直径 (2 R) が 20 mm の条件の値をいうものとする。

曲げ損失特性は、光ファイバをケーブル化したり、光ファイバケーブルを使用する環境によって決定されるべきである。例えばテープ型の光ファイバをタイトな構造体の中に埋め込むような場合には、望ましくは 20 dB/m 以下の範囲が選択されるが、いわゆるルーズチューブ型の光ケーブルの場合は、それ程大きな力は印加されないので、100 dB/m 以下程度であれば許容される。

【0 0 1 2】

曲げ損失を低減するためには、カットオフ波長をできるだけ長波長側にシフトさせると好ましい。

また、本発明の光ファイバはシングルモード光ファイバであるため、使用波長帯において、実質的にシングルモード伝搬を保証するカットオフ波長を有する必要がある。

通常のカットオフ波長は、CCITT の 2 m 法 (以下 2 m 法と記す) による値

によって規定されている。しかし、実際の長尺の使用状態においては、この値が使用波長帯の下限值よりも長波長側であってもシングルモード伝搬が可能である。

#### 【 0 0 1 3 】

したがって、本発明の光ファイバにおいて、2 m法で規定されるカットオフ波長は、光ファイバの使用長さ和使用波長帯によってシングルモード伝搬可能であるように、かつできるだけ曲げ損失を低減できるように長波長側に設定する。具体的には、例えば2 m法におけるカットオフ波長が $1.7 \mu\text{m}$ 以下であれば、5 0 0 0 m程度以上の長尺の状態、使用波長帯 $1.53 \sim 1.61 \mu\text{m}$ の使用波長帯におけるシングルモード伝搬を実現することができる。

#### 【 0 0 1 4 】

このような特性を有するためには、図1あるいは図3に示したような屈折率分布形状（屈折率プロファイル）を有することが必要である。

図1に示した第1の例の屈折率分布形状は、中心コア部1と、その外周上に設けられたこの中心コア部1よりも低屈折率の中間部2と、その外周上に設けられた、この中間部2よりも高屈折率で、前記中心コア部1よりも低屈折率のクラッド4とを有するものである。

#### 【 0 0 1 5 】

この光ファイバにおいて、例えば中心コア部1は屈折率を上昇させる作用を有するゲルマニウムを添加した石英ガラス、中間部2は屈折率を低下させる作用を有するフッ素を添加した石英ガラスあるいは純石英ガラス、クラッド4は純石英ガラス、あるいは屈折率を上昇させる作用を有する塩素を添加した石英ガラスから構成されている。

この光ファイバは、例えばVAD法などによって製造することができる。

#### 【 0 0 1 6 】

また、中心コア部1の半径を $r_1$ 、中間部2の半径（コア半径）を $r_2$ としたとき、 $3.0 \leq r_2 / r_1 \leq 5.0$ であると好ましい。 $r_2 / r_1$ が3.0未満の場合は、光の電磁界が中間部2をこえてクラッド4に到達しやすくなるので曲げ損失が増加する傾向がある。また、 $r_2 / r_1$ が5.0をこえる場合は中間部2

を設けた効果が低減し、コアへの光の電磁界の閉じこめが強くなりすぎるので、 $A_{eff}$  拡大の効果が減少する傾向がある。

また、カットオフ波長は  $r_1$  の値を拡大することによって長波長側にシフトさせることができる。上述のようにカットオフ波長は光ファイバの使用長さと使用波長帯によって設定されるため、一概に  $r_1$  の数値範囲を示すことはできないが、通常  $r_1$  は  $5 \sim 20 \mu\text{m}$  の範囲から選択される。

また、クラッド4の外径は通常約  $125 \mu\text{m}$  とされる。

#### 【0017】

また、クラッドの屈折率を基準としたときの中心コア部と中間部の比屈折率差をそれぞれ  $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$  としたとき、 $\Delta_1$  が  $0.26\%$  以下、 $\Delta_2$  が  $-0.05 \sim -0.15\%$  であると好ましい。

$\Delta_1$  が  $0.26\%$  をこえると、 $A_{eff}$  を拡大することが困難となる。また、 $\Delta_2$  が  $-0.05$  よりも大きくなると ( $\Delta_2$  の絶対値が小さくなると) 曲げ損失が大きくなり、 $-0.15\%$  よりも小さくなると ( $\Delta_2$  の絶対値が大きくなると)  $A_{eff}$  が小さくなる傾向がある。

#### 【0018】

図2は、 $\Delta_2$  を  $-0.05\%$ 、 $r_2/r_1$  を  $4.0$  に固定し、2m法によるカットオフ波長を  $1.3 \sim 1.7 \mu\text{m}$  の範囲で  $0.1 \mu\text{m}$  きざみで変化させたときの使用波長  $1.55 \mu\text{m}$  における  $A_{eff}$  および曲げ損失の変化を示したグラフである。

$r_1$  の値が小さく、カットオフ波長が短波長にシフトする程、 $A_{eff}$  が小さく、曲げ損失が大きくなる傾向がある。一方、 $r_1$  の値が大きく、カットオフ波長が長波長にシフトする程、 $A_{eff}$  が大きく、曲げ損失が小さくなる傾向がある。

グラフに示された直線は、 $\Delta_1$  の値ごとにまとめられている。 $\Delta_1$  は  $0.18 \sim 0.24\%$  の範囲において、 $0.02\%$  間隔で設定されている。

そして、 $A_{eff}$  においては、 $\Delta_1$  が大きくなる程小さくなる傾向がある。

曲げ損失においては、 $\Delta_1$  が大きくなる程小さくなる傾向がある。

#### 【0019】

このように、 $\Delta_2$ 、 $r_2 / r_1$ 、使用波長の値を設定し、 $r_1$ の値を変化させたグラフより、本発明におけるA e f f、曲げ損失、カットオフ波長の条件を満足する各構造パラメータを選択することによって、図1に示した屈折率分布形状を有し、かつ本発明の条件を満足する光ファイバを設計することができる。

したがって、図1に示した屈折率分布形状を有し、かつ、上述の $r_2 / r_1$ 、 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ の好ましい数値範囲を満足していたとしても、必ずしも上述のようなA e f f、曲げ損失、カットオフ波長の特性を満足するものが得られるわけではなく、本発明の光ファイバの特性は、これらの構造パラメータの適切な組み合わせによって実現されるものである。

そのため、本発明においては、これらの構造パラメータの数値範囲から発明を特定することが困難であり、屈折率分布形状と、光ファイバの特性値によって発明を特定する。このようなものは従来実現できなかったことは言うまでもない。

#### 【0020】

図3は、本発明の光ファイバの屈折率分布形状の第2の例を示したものである。

この屈折率分布形状が図1に示した第1の例の屈折率分布形状と異なるところは、中間部2とクラッド4との間にリングコア部3が設けられている点である。このような屈折率分布形状を一般にリング付プロファイルという場合がある。

このリングコア部3の屈折率は、中間部2とクラッド4よりも高屈折率で、かつ中心コア部1よりも低屈折率である。

#### 【0021】

この光ファイバにおいて、例えば中心コア部1とリングコア部3はゲルマニウム添加石英ガラス、中間部2はフッ素添加石英ガラスあるいは純石英ガラス、クラッド4は純石英ガラスあるいは塩素添加石英ガラスから構成されている。

この光ファイバも、第1の例と同様に、例えばVAD法などによって製造することができる。

#### 【0022】

この例において、リングコア部3の半径（コア半径）を $r_3$ としたとき、 $3.0 \leq r_2 / r_1 \leq 4.0$ 、かつ $4.0 \leq r_3 / r_1 \leq 5.0$ であると好ましい。 $r_2$

$r_1$  が 3.0 未満の場合は、光の電磁界分布が中間部 2 を越えて容易にリングコア部 3 に到達するため、曲げ損失が増加する傾向がある。また、 $r_2/r_1$  が 4.0 をこえる場合はコア内の光の閉じこめが強くなりすぎて、中間部 2 を設けた効果が低減し、A e f f の拡大効果が低減する傾向がある。また、 $r_3/r_1$  が 4.0 未満であると、リングコア部 3 を設けた効果が低減し、A e f f の拡大効果が低減する傾向がある。また、 $r_3/r_1$  が 5.0 をこえる場合は曲げ損失が増加する傾向がある。

また、上述のように、カットオフ波長は  $r_1$  の値を拡大することによって長波長側にシフトさせることができ、この例において、通常  $r_1$  は  $5 \sim 20 \mu\text{m}$  の範囲から選択される。

また、クラッド 4 の外径は通常約  $125 \mu\text{m}$  とされる。

#### 【0023】

また、この例において、クラッドの屈折率を基準としたときのリングコア部の比屈折率差を  $\Delta_3$  としたとき、 $\Delta_1$  が 0.35% 以下、 $\Delta_2$  が  $0 \sim -0.2\%$ 、 $\Delta_3$  が  $+0.05 \sim +0.2\%$  であると好ましい。

$\Delta_1$  が 0.35% をこえると、A e f f を拡大することが困難となる。また、 $\Delta_2$  が  $-0.2\%$  よりも小さくなると ( $\Delta_2$  の絶対値が大きくなると) A e f f が小さくなる傾向がある。 $\Delta_3$  が  $+0.05$  未満であると、リングコア部 3 を設けた効果が低減し、A e f f の拡大効果が低減する傾向がある。 $\Delta_3$  が  $+0.2\%$  をこえると、曲げ損失が増加する傾向がある。

#### 【0024】

しかしながら、第 1 の例と同様に、図 3 に示した屈折率分布形状を有し、かつ、上述の  $r_2/r_1$ 、 $r_3/r_1$ 、 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ 、 $\Delta_3$  の好ましい数値範囲を満足していたとしても、必ずしも上述のような A e f f、曲げ損失、カットオフ波長の特性を満足するものが得られるわけではなく、本発明の光ファイバの特性は、これらの構造パラメータの適切な組み合わせによって実現されるものである。

#### 【0025】

本発明においては、図 1、図 3 に示したような比較的簡単な構造の屈折率分布形状を有する光ファイバにおいて、その構造パラメータを適切に調整することに

よって、 $A_{eff}$ を拡大し、かつ曲げ損失を低減し、かつ $1.53\sim 1.61\mu\text{m}$ から選択される使用波長帯においてシングルモード伝搬可能となるカットオフ波長を有する光ファイバを、低コストで提供することができる。

その結果、 $1.53\sim 1.61\mu\text{m}$ から選択される使用波長帯において、非線形効果を抑制して伝送損失の劣化を防ぐことができるとともに、敷設時などに光ファイバに付与されるマイクロベンドによっても伝送損失が劣化しにくく、かつシングルモード伝搬を保証できる光ファイバを提供することができる。

#### 【0026】

また、本発明の光ファイバは、いわゆる分散補償光ファイバと組み合わせて光伝送システムを構築することができる。この光伝送システムの使用波長帯は、上述した本発明の光ファイバの使用波長帯と同様である。

分散補償光ファイバは、伝送路の大部分を構成する光ファイバの波長分散値に対して、異なる符号であって、かつ絶対値が大きな波長分散値を有するものである。また、分散スロープも同様に、伝送路の大部分を構成する光ファイバの分散スロープに対して、異なる符号であって、かつ絶対値が大きな値を有するものもある。

分散スロープは、横軸に波長、縦軸に波長分散値をとって波長分散値をプロットして得られた曲線の勾配であって波長分散値の波長依存性を表す指標である。分散スロープが大きいと、波長多重伝送のように複数の異なる波長の光信号を伝送する場合は、各波長間での伝送状態がばらつき、伝送劣化の原因となる。そのため、波長多重伝送に適用する場合は、波長分散値と分散スロープを同時に補償できるものを用いると好ましい。また、用途によっては分散スロープのみを補償するものを用いることもできる。

#### 【0027】

そして、光信号の入射側に本発明の光ファイバを配置し、その光信号の出射側に分散補償光ファイバを配置することにより、入射側の光ファイバを伝送することによって蓄積された波長分散値、あるいは分散スロープが、出射側の比較的短い長さの分散補償光ファイバにて打ち消されて補償される。その結果、これらの光ファイバを合成した状態（光ファイバと分散補償光ファイバとを組み合わせた

状態)での平均波長分散値と分散スロープの一方、あるいは両方が小さくなり、波長分散に起因する伝送劣化を抑制することができる。

また、本発明の光ファイバは、 $A_{eff}$ が大きく、非線形効果に起因する伝送劣化が抑制できるので、結果として伝送特性が非常に良好な光伝送システムが構築できる。

#### 【0028】

分散補償光ファイバは、本発明の光ファイバの波長分散値と分散スロープのどちらか一方、あるいは両方を補償できるものであれば特に限定しないが、本発明者らが特願平 11-147301 号にて提案したものなどを例示することができる。

この分散補償光ファイバは、図 1 に示したものと同様の屈折率分布形状を有し、その構造パラメータを調整して分散補償光ファイバとしての特性を付与したものである。構造パラメータは、補償対象とする光ファイバの波長分散値、あるいは分散スロープによって適宜調整される。

この分散補償光ファイバも、本発明の光ファイバと同様に、VAD 法などによって製造することができる。また、各層の構成材料も、本発明の光ファイバと同様のものを用いることができる。

#### 【0029】

また、伝送路の大部分を構成する光ファイバと分散補償光ファイバとを組み合わせたときに、実際の使用長さにおける光ファイバの分散スロープの絶対値に対する、使用長さにおける分散補償光ファイバの分散スロープの絶対値の割合を分散スロープの補償率という。なお、単位長さ当たりの分散スロープに、使用長さを掛け合わせると、使用長さにおける分散スロープが算出できる。

この光伝送システムにおいては、この分散スロープの補償率が 80% 以上であるように、光ファイバの使用長さと、分散補償光ファイバの特性および使用長さを設定すると好ましい。

光伝送システムの平均波長分散値は小さい程好ましく、本発明の光ファイバを用いたシステムにおいては、適切な分散補償光ファイバと、その使用長さを選択して組み合わせることによって、 $-6 \sim +6 \text{ ps/km/nm}$  の範囲のものが得



られる。

【0 0 3 0】

【実施例】

以下、本発明を実施例を示して詳しく説明する。

(実施例 1)

VAD法により、図 1 に示した屈折率分布形状を有する光ファイバを製造した。中心コア部はゲルマニウム添加石英ガラスから構成し、中間部はフッ素添加石英ガラス、クラッドは純石英ガラスから構成した。

この光ファイバにおいて、 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ は、それぞれ 0.20%、-0.05%であった。また、 $r_1$ 、 $r_2$  はそれぞれ、8.1  $\mu\text{m}$ 、32.4  $\mu\text{m}$ 、クラッドの外径は約 125  $\mu\text{m}$ であった。

表 1 にこの光ファイバの特性を示した。なお、各特性値は 1.55  $\mu\text{m}$ における測定値である。また、カットオフ波長は 2 m 法における測定値である。

【0 0 3 1】

【表 1】

No	$\Delta 1$	$\Delta 2$	r1:r2	波長	カットオフ 波長 ( $\mu m$ )	Aeff ( $\mu m^2$ )	MFD ( $\mu m$ )	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm	波長分散 (ps/nm/km)	分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)
1	0.20	-0.05	1:4.0	1.550	1.7	181	14.6	17.8	+21.2	+0.063

【0 0 3 2】

(実施例 2)

VAD法により、図 3 に示した屈折率分布形状を有する光ファイバを製造した

。中心コア部とリングコア部はゲルマニウム添加石英ガラスから構成し、中間部はフッ素添加石英ガラス、クラッドは純石英ガラスから構成した。

この光ファイバにおいて、 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ 、 $\Delta_3$ は、それぞれ0.28%、-0.05%、+0.13%であった。また、 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ はそれぞれ、7.75  $\mu$ m、26.35  $\mu$ m、31  $\mu$ m、クラッドの外径は約125  $\mu$ mであった。

表2にこの光ファイバの特性を示した。なお、各特性値は1.55  $\mu$ mにおける測定値である。また、カットオフ波長は2 m法における測定値である。

【0033】

【表 2】

No	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	r1:r2:r3	波長	コア 半径 ( $\mu\text{m}$ )	カットオフ 波長 ( $\mu\text{m}$ )	$A_{\text{eff}}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	MFD ( $\mu\text{m}$ )	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm	波長分散 (ps/nm/km)	分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)
1	0.28	-0.05	0.13	1:3.4:4.0	1.550	31	1.59	156	13.5	4.0	+21.2	+0.064

【0 0 3 4】

## (比較例 1)

高屈折率のコアの周囲に低屈折率のクラッドが設けられたステップ型の屈折率分布形状を有する光ファイバを製造した。コアはゲルマニウム添加石英ガラスから構成し、クラッドは純石英ガラスから構成した。

この光ファイバにおいて、クラッドの屈折率を基準にしたときのコアの比屈折率差は 0.34%、コア半径は  $4.8\ \mu\text{m}$ 、クラッドの外径は約  $125\ \mu\text{m}$  であった。

この光ファイバの  $1.55\ \mu\text{m}$  における  $A_{\text{eff}}$  の測定値は約  $88\ \mu\text{m}^2$ 、曲げ損失は  $5\ \text{dB/m}$ 、2m 法におけるカットオフ波長は  $1.37\ \mu\text{m}$  であった。

## 【0035】

上述の結果より、本発明に係る実施例 1、2 の光ファイバにおいては、 $A_{\text{eff}}$  を十分に拡大することができ、また、曲げ損失が小さく、 $1.55\ \mu\text{m}$  においてシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有していることが確認できた。

そして、比較例 1 の光ファイバよりも  $A_{\text{eff}}$  を拡大することができ、非線形効果を抑制できることが明らかとなった。

## 【0036】

## (実施例 3)

実施例 1 の光ファイバと、この光ファイバの波長分散値と分散スロープを補償する分散補償光ファイバを作製し、前記光ファイバの光信号の出射側に分散補償光ファイバを接続して光伝送システムを構築した。このとき、実施例 1 の光ファイバは  $30.9\ \text{km}$ 、分散補償光ファイバは  $5.0\ \text{km}$  であり、伝送路の合計は  $35.9\ \text{km}$  とした。

分散補償光ファイバは、図 1 に示したものと同様の屈折率分布形状を有し、その構造パラメータを調整することによって、実施例 1 の光ファイバと異なる符号の波長分散値と分散スロープを有するものを用いた。構成材料と製造方法は実施例 1 と同様とした。

分散補償光ファイバの構造パラメータと特性、および分散スロープの補償率を表 3 にあわせて示した。

## 【0037】

【表 3】

$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	r2 ( $\mu$ m)	r2/r1	使用波長 ( $\mu$ m)	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)	分散スロープの 補償率 (%)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
2.3	-0.45	3.7	3.5	1.55	0.48	-131	-0.36	92.5	5

【0038】

実施例 1 の光ファイバと分散補償光ファイバとを合成した状態の伝送路の平均

波長分散値は  $1.55 \mu\text{m}$  において、ほぼゼロであり、残存した分散スロープは、伝送路全長で  $+0.147 \text{ ps/nm}^2$  であり、長さあたりに換算すると、 $+0.004 \text{ ps/km/nm}^2$  であり、非常に小さな分散スロープが得られた。

よって、光信号の入射側に本発明に係る実施例 1 の光ファイバが用いられており、この光ファイバは  $A_{\text{eff}}$  が大きいこと、非線形効果による伝送劣化がほとんどなく、かつ、出射側で波長分散値と分散スロープが補償されているため、分散特性に起因する伝送特性の劣化もなく、非常に良好な伝送特性を有する光伝送システムが得られた。

#### 【0039】

##### 【発明の効果】

以上説明したように本発明においては、比較的簡単な構造の屈折率分布形状を有する光ファイバにおいて、その構造パラメータを調整することによって、 $A_{\text{eff}}$  を拡大し、かつ  $1.53 \sim 1.61 \mu\text{m}$  から選択される使用波長帯においてシングルモード伝搬可能となるカットオフ波長を有する光ファイバを、低コストで提供することができる。また、曲げ損失を用途に応じた値に低減することができる。

その結果、 $1.53 \sim 1.61 \mu\text{m}$  から選択される使用波長帯において、非線形効果を抑制して伝送損失の劣化を防ぐことができるとともに、敷設時などに光ファイバに付与されるマイクロベンドによっても伝送損失が劣化しにくく、かつシングルモード伝搬を保証できる光ファイバを提供することができる。

さらに、本発明の光ファイバと分散補償光ファイバとを組み合わせることにより、非線形効果と分散特性に起因する伝送劣化を抑制し、伝送特性が良好な光伝送システムを構築することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の光ファイバの屈折率分布形状の第 1 の例を示したグラフである。

【図 2】 図 1 に示した構造パラメータを変化させたときの、2m 法によるカットオフ波長と、使用波長  $1.55 \mu\text{m}$  における  $A_{\text{eff}}$  および曲げ損失との関係の一例を示したグラフである。

【図 3】 本発明の光ファイバの屈折率分布形状の第 2 の例を示したグラフである。

【符号の説明】

1 … 中心コア部、2 … 中間部、3 … リングコア部、4 … クラッド

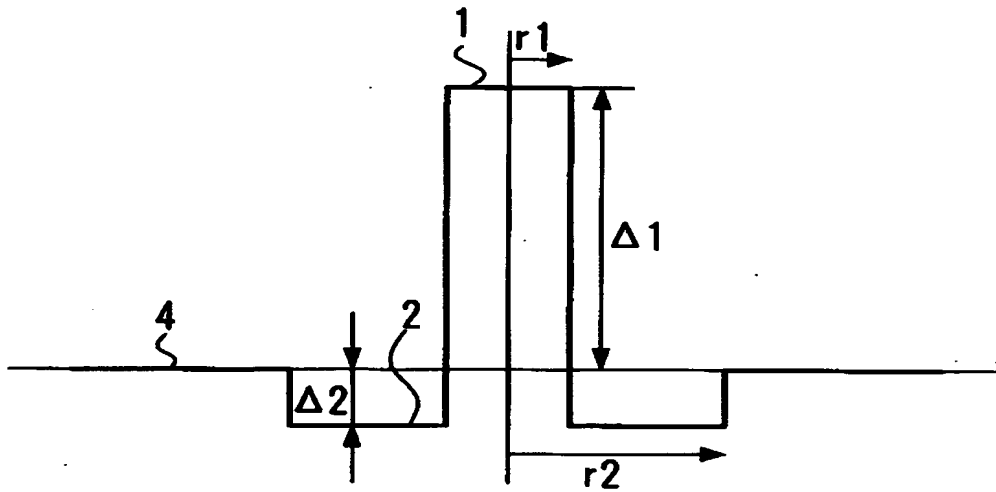
$r_1$  … 中心コア部の半径、 $r_2$  … 中間部の半径、 $r_3$  … リングコア部の半径、

$\Delta_1$  … 中心コア部の屈折率、 $\Delta_2$  … 中間部の屈折率、 $\Delta_3$  … リングコア部の屈折率。

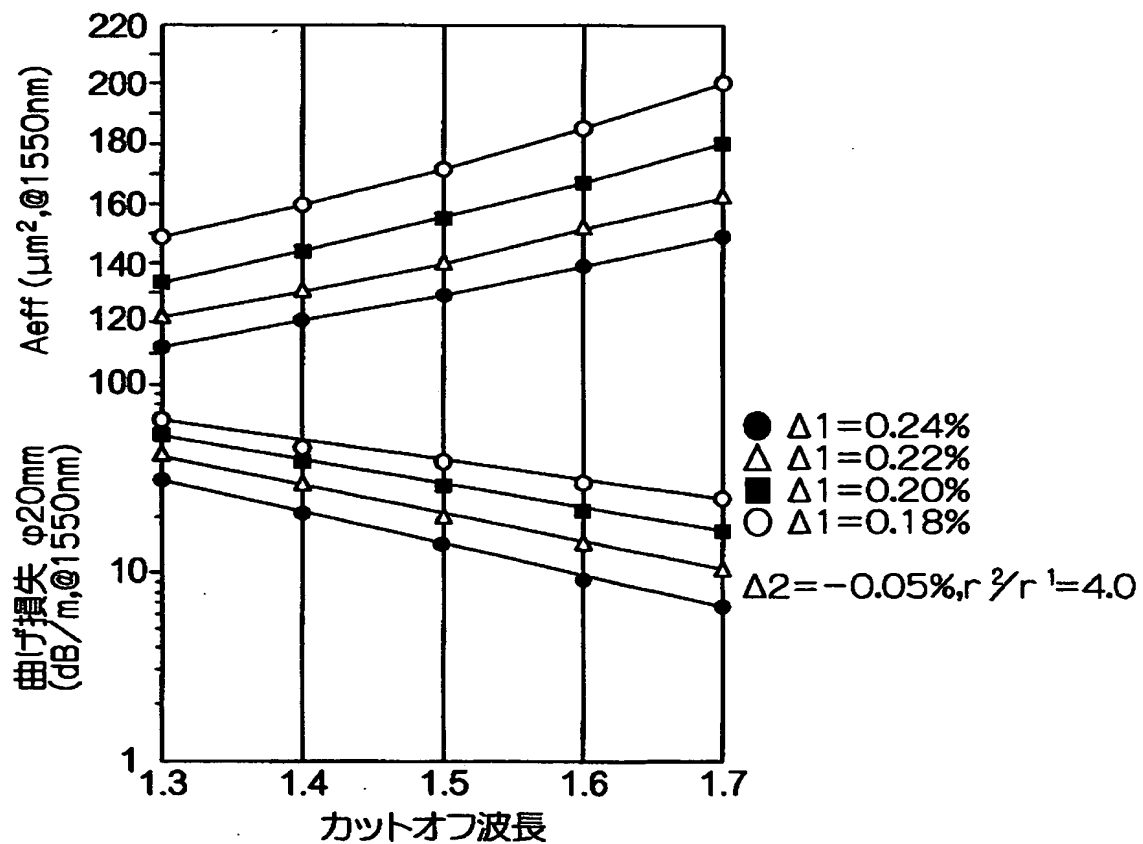


【書類名】 図面

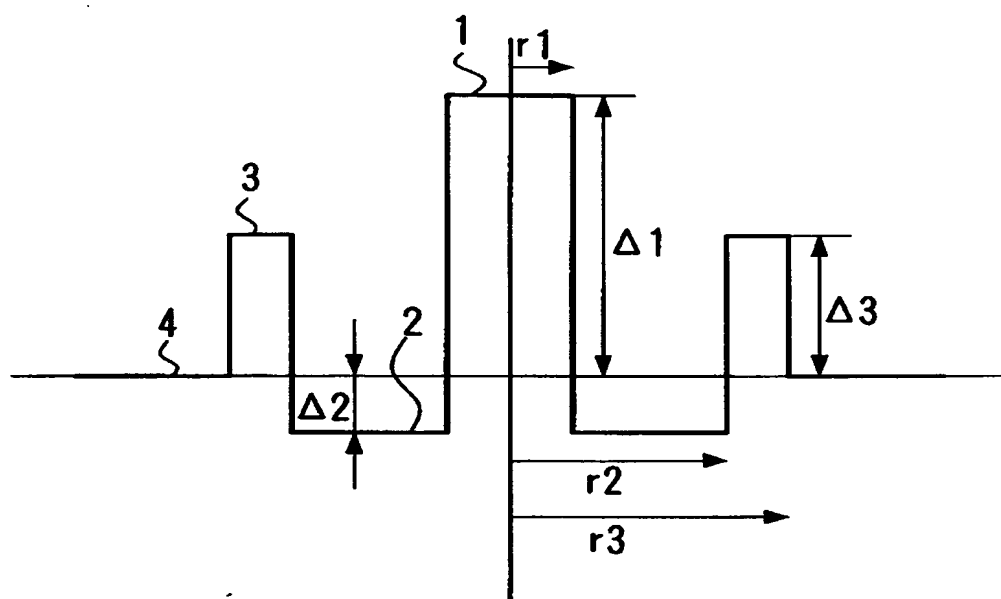
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 1. 5 3～1. 6 1  $\mu\text{m}$ から選択される使用波長帯において、A e f f の拡大を図ることができ、比較的簡単な屈折率分布形状を有し、低コストで製造可能な光ファイバを提供する。

【解決手段】 中心コア部 1 と、その外周上に設けられた該中心コア部 2 よりも低屈折率の中間部 2 と、該中間部 2 の周囲に設けられた該中間部 2 よりも高屈折率で、前記中心コア部 1 よりも低屈折率のクラッド 4 とを有する屈折率分布形状を備え、1. 5 3～1. 6 1  $\mu\text{m}$ から選択される使用波長帯において、有効コア断面積が 1 4 0  $\mu\text{m}^2$  以上であり、かつ前記使用波長帯において、実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有することを特徴とする光ファイバを構成する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005186]

1. 変更年月日	1992年10月 2日
[変更理由]	名称変更
住 所	東京都江東区木場1丁目5番1号
氏 名	株式会社フジクラ